

10/539438

JC20 Rec'd T/PTO 20 JUN 2005
785.45158X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Hans-Jurgen SALZBURGER et al.
Serial No.: Not Yet Assigned
Filed: June 20, 2005
For: ELECTROMAGNETIC ULTRASONIC PROBE

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner of Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

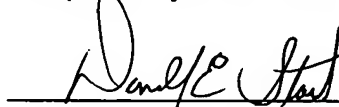
June 20, 2005

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s)
hereby claim(s) the right of priority based on:

German Application 102 59 409.0 filed December 19, 2002

Respectfully submitted,



Donald E. Stout
Registration No. 26,422
ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

DES/dc
(703) 312-6600

BEST AVAILABLE COPY

Rec'd PCT/PTO 20 JUN 2005 #3



REC'D 11 FEB 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 59 409.0

Anmeldetag: 19. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 80636 München/DE

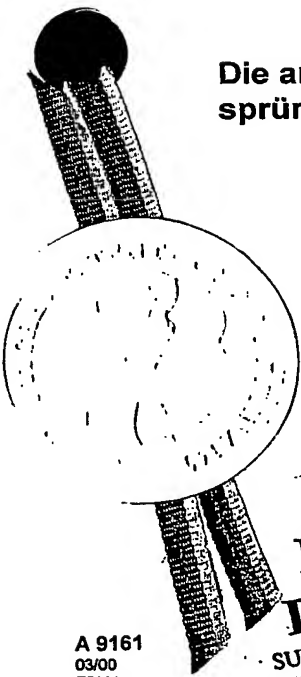
Bezeichnung: Elektromagnetischer Ultraschalprüfkopf

IPC: G 01 N 29/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag.

Hintermeier



**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
03/00
EDV-L

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Deutsches Patent- und Markenamt

Zweibrückenstr. 12

80297 München

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.*

Patentanwälte,
European Patent Attorneys,
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120
Telefax: +49/(0)89/820 477 121
email: ur@urpatent.com

18.12.2002, R5/He
Unser Zeichen: F102R224

Neue Deutsche Patentanmeldung

Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.,
Leonrodstr. 54, 80636 München

Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf einen elektromagnetischen Ultraschallprüfkopf zur koppelmittelfreien Erzeugung sowie Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück. Ein derartiger Ultraschallprüfkopf sieht eine Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes erzeugende Einheit vor, mit einer Sendespulenordnung, an die zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes eine HF-Spannung anlegbar ist: Eine Vormagnetisierungseinheit sorgt darüber hinaus zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes, das das HF-Magnetfeld im Werkstück überlagert. Zum

Nachweis der Ultraschallwellen ist überdies eine die Ultraschallwellen empfangende Einheit vorgesehen, die eine Empfangsspulenordnung aufweist, die mit einer Auswerteeinheit verbindbar ist.

Zur Vermeidung, dass die zumeist nur filigran ausgebildeten Sendespulen- und Empfangsspulenordnungen durch unmittelbaren Kontakt mit der Werkstückoberfläche mechanischen Schaden erleiden, sind diese torusförmig auf wenigstens einem teilringartig ausgebildeten Magnetkern angeordnet, der jeweils zwei dem Werkstück zukehrbare Stirnflächen aufweist, über die die HF-Magnetfelder in das Werkstück oder aus dem Werkstück ein- bzw. auskoppelbar sind. Auf diese Weise ist es möglich die Spulenordnungen von der Werkstückoberfläche beabstandet anzuordnen, dennoch werden die für die Erzeugung sowie auch für den Nachweis von Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes erforderlichen HF-Magnetfelder effektiv über den teilringartig ausgebildeten Magnetkern in das Werkstück ein- bzw. aus diesem ausgekoppelt.

Derartige Ultraschall-Prüfköpfe ermöglichen die Erzeugung sowie den Empfang von linear polarisierten Transversalwellen, die senkrecht unter dem Prüfkopf in das Werkstück abgestrahlt bzw. aus dieser Richtung empfangen werden und senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung in einer Ebene schwingen. Technische Anwendungsgebiete derartiger Ultraschall-Prüfköpfe sind bspw. die zerstörungsfreie Prüfung elektrisch leitfähiger Werkstücke auf Materialfehler, wie bspw. Risse, insbesondere senkrecht zur Polarisationsrichtung der Ultraschallwelle und parallel zur Ausbreitungsrichtung orientierte rissartige Fehler, sowie andere auf Ultraschallgeschwindigkeit und Polarisation basierende Verfahren, wie bspw. die Spannungsmessung oder insbesondere die Dickenmessung.

Stand der Technik

Die aus dem Stand der Technik bekannten koppelmittelfreien elektromagnetischen Prüfköpfe wandeln elektromagnetische Feldenergien in elastische Energie einer Ultraschallwelle und umgekehrt. Der Wandlungsmechanismus beruht hierbei auf den Wechselwirkungen zwischen dem elektromagnetischen Feld und einem elektrisch

leitendem Material, das zudem durch ein von außen angelegtes statisches oder quasi statisches Magnetfeld durchsetzt wird. Der Begriff „quasi statisches“ Magnetfeld umfasst neben einem tatsächlich statischen Magnetfeld, das bspw. mittels Permanentmagnete erzeugbar ist, auch niederfrequente Magnetfelder, deren Wechselfrequenz sehr viel kleiner ist als die Hochfrequenz, mit der die Sendespulenordnung zur Erzeugung von Hochfrequenzfeldern betrieben wird.

Zur Anregung von Ultraschallwellen innerhalb eines elektrisch leitenden Werkstückes wird zumindest ein Teil des von der Hochfrequenzspulenordnung erzeugten hochfrequenten Magnetfeldes, dessen Frequenzbereich innerhalb des Ultraschall-Frequenzbereiches liegt, in das Werkstück eingekoppelt, innerhalb der sogenannten Skintiefe Wirbelströme erzeugt werden, die zusammen mit dem „quasi statischen“ Magnetfeld aufgrund von Lorentz-Kräften oder Magnetostriktionen innerhalb des Werkstückes Ultraschallwellen erzeugen.

Der Nachweis von innerhalb des Werkstückes auftretenden Ultraschallwellen erfolgt in umgekehrter Weise über die Detektion der induzierten elektrischen Spannung innerhalb der Empfangsspulenordnung, die durch HF-Felder bewirkt wird, die wiederum durch Ultraschallwellen bedingte Bewegungen elektrischer Ladungen im Werkstück innerhalb des „quasi statischen“ Magnetfeldes hervor gerufen werden.

Allen bekannten elektromagnetischen Ultraschallwandlern liegt das gemeinsame Entwicklungsziel zugrunde, die Messempfindlichkeit und damit verbunden die mit den Sende- und Empfangsspulenordnungen erzeugbaren Signalamplituden sowohl im Sende- als auch im Empfangssignal zu optimieren. Hierbei gilt es zum einen, den Koppelmechanismus, mit dem die erzeugten und nachzuweisenden HF-Felder zwischen dem Ultraschallwandler und dem Werkstück ein- und ausgekoppelt werden, möglichst verlustfrei zu gestalten und zum anderen die Feldstärke des quasistatischen Magnetfeldes, die für die Erzeugung und für den Nachweis von Ultraschallwellen massgeblich ist, möglichst groß zu wählen.

Aus der DE 42 23 470 C2 geht ein gattungsgemäßer elektromagnetischer Prüfkopf für die Senkrechteinschallung von linear polarisierten Transversalwellen hervor, bei dem die HF-Magnetfelder zwischen dem Prüfkopf und dem Werkstück auf höchst effiziente Weise ein- bzw. ausgekoppelt werden, ohne dabei, wie es bei einer Vielzahl anderer Prüfköpfe der Fall ist, die zumeist als HF-Luftspulen ausgebildeten Sende- und Empfangsspulenanordnungen unmittelbar auf der Werkstückoberfläche aufliegend anzuordnen. Vielmehr sieht der in der vorstehenden Druckschrift beschriebene elektromagnetische Prüfkopf gemäß Figur 2 einen halb offen ausgebildeten, kommerziell aus amorphen Bandmaterial gefertigten Ringbandkern 6 vor, der jeweils von einer Sende- 7 sowie von einer Empfangsspulenanordnung 8 umwickelt ist. Die Stirnflächen 11 des halb offen ausgebildeten Ringbandkerns 6 dienen als Koppelflächen für die HF-Magnetfelder und sind in geeigneter Weise auf die Oberfläche des zu untersuchenden Werkstückes 5 auflegbar. Die durch die HF-Sendespulenanordnung 7 erzeugten HF-Magnetfelder gelangen über die Stirnflächen 11 des Ringbandkerns 6 in das Werkstück 5 und vermögen oberflächennahe Wirbelströme 12 innerhalb der Skintiefe des Werkstückes 5 zu induzieren.

Das zur Schallwandlung notwendige senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes 5 orientierte quasistatische Magnetfeld wird mittels zweier gleichnamiger Permanentmagnete 3 erzeugt und über einen, im Inneren des Ringbandkerns vorgesehenen Weicheisenkern 2 zur Materialoberfläche des Werkstückes 5 geführt. Hierbei befindet sich die für die Ausbildung des senkrecht zur Werkstückoberfläche orientierten „quasistatischen“ Magnetfeldes erforderliche Vormagnetisierungseinheit innerhalb des offenen Teils des Ringbandkerns.

Nachteilhaft bei der vorstehend beschriebenen Ausführungsform für einen elektromagnetischen Prüfkopf sind die nur geringen mit dem Prüfkopf erzielbaren Signalstärken für die Erzeugung sowie den Nachweis von Ultraschallwellen. So lassen sich aufgrund des konstruktiv vorgegebenen geringen Volumens der Vormagnetisierungseinheit keine größeren magnetischen Flüsse erzeugen.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen elektromagnetischen Ultraschallprüfkopf derart weiterzubilden, dass die mit dem Prüfkopf innerhalb eines Werkstückes erzeugbaren linear polarisierten Transversalwellen höhere Signalamplituden aufweisen sollen, als es mit den bisherigen Prüfköpfen der Fall ist. Insbesondere soll die Nachweisempfindlichkeit derartiger Prüfköpfe gesteigert werden, ohne dabei die für die Erzeugung sowie für den Empfang von Ultraschallwellen innerhalb eines Werkstückes erforderlichen HF-Spulenordnungen nahe an der Werkstückoberfläche platzieren zu müssen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind in den Unteransprüchen sowie der Beschreibung zu entnehmen.

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, ausgehend von dem elektromagnetischen Prüfkopf gemäß der DE 42 23 470 C2 eine gezielte Möglichkeit zur Vergrößerung des Bauvolumens der für das „quasi statische“ Magnetfeld erforderlichen Vormagnetisierungseinheit anzugeben. Durch die bauliche Vergrößerung der Vormagnetisierungseinheit gelingt es die Stärke des senkrecht in das Werkstück eintretende „quasi statischen“ Magnetfeldes zu erhöhen, so dass die für die Erzeugung von Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes verantwortlichen

Lorentz-Kräfte oder Magnetostriktionen vergrößert werden, wodurch letztlich Ultraschallwellen größerer Amplituden entstehen.

In umgekehrter Weise führt die konstruktionsbedingte Magnetfeldsteigerung des innerhalb des Werkstückes eintretenden „quasi statischen“ Magnetfeldes zur Ausbildung stärkerer HF-Felder, die durch Ultraschallwellen bedingte Ladungsauslenkungen innerhalb des Werkstückes in Gegenwart des quasistatischen Magnetfeldes erzeugt und über die Stirnflächen in den Ringbandkern eingekoppelt werden. Diese HF-Felder vermögen nun in der Empfangsspulenordnung höhere

elektrische Spannungen zu induzieren, wodurch letztlich die Nachweisempfindlichkeit des elektromagnetischen Ultraschallwandlers entscheidend verbessert werden kann.

Erfindungsgemäß sieht hierbei ein elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf gemäß des Oberbegriffes des Patentanspruches 1 eine mittel- oder unmittelbar mit dem Werkstück über eine Kontaktfläche kontaktierbare Vormagnetisierungseinheit auf, die seitlich neben dem wenigstens einen teilringartig ausgebildeten Magnetkern, der vorzugsweise in Form eines Ringbandkerns ausgebildet ist, derart angeordnet ist, so dass der teilringartig ausgebildete Magnetkern senkrecht zur Kontaktfläche von der Vormagnetisierungseinheit überragbar ist.

Im Unterschied zu der vorstehend zitierten DE 42 23 470 C2 wird die Vormagnetisierungseinheit anordnungsbedingt nicht von dem vorzugsweise halboffen ausgebildeten Ringbandkern überragt, vielmehr befindet sich dieser seitlich unmittelbar neben der Vormagnetisierungseinheit ohne dabei die Vormagnetisierungseinheit oder auch nur Teile von dieser in Projektion zur Oberfläche des Werkstückes zu überragen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der als Ringbandkern ausgeführte, teilringartig ausgebildete Magnetkern in Bezug auf seine Teilringebene um einen Winkel α zur Kontaktfläche geneigt angeordnet. Hierbei schließen die beiden, dem Werkstück zugewandten Stirnflächen des Ringbandkerns ebenso den Winkel α mit der Teilringebene ein, so dass der Ringbandkern weitgehend bündig über die Stirnflächen auf dem Werkstück aufliegt. Die Neigung der Teilringebene des Ringbandkerns ist vorzugsweise derart zur Kontaktfläche ausgebildet, so dass sich die über die Stirnflächen in das Werkstück einkoppelbaren HF-Magnetfelder in den Bereich unterhalb der Kontaktfläche zwischen der Vormagnetisierungseinheit und dem Werkstück erstrecken und somit in Wechselwirkung mit dem quasistatischen Magnetfeld innerhalb des Werkstückes zur Ausbildung von Wirbelströmen treten.

Durch die seitliche Anordnung wenigstens eines teilringartig ausgebildeten Magnetkerns relativ zur Kontaktfläche zwischen der Vormagnetisierungseinheit und

dem Werkstück ist es möglich, die Vormagnetisierungseinheit, bspw. in Form eines oder mehrerer Permanentmagnete beliebig groß, insbesondere in senkrechter Erstreckung zur Kontaktfläche beliebig hoch auszubilden, um auf diese Weise ein gewünschtes starkes „quasi statisches“ Magnetfeld zu erzeugen. Der Größenskalierung für die Vormagnetisierungseinheit sind durch die senkrecht zur Kontaktfläche nach oben offene Bauform der Ultraschallwandler-Anordnung grundsätzlich keine Grenzen gesetzt, lediglich Aspekte bezüglich der Handhabung der Anordnung können die Baugröße beschränken.

In Anlehnung an die in der DE 42 23 470 C2 bekannten Anordnung für einen elektromagnetischen Ultraschallwandler sieht eine einfache Ausführungsform den Einsatz nur eines einzigen Ringbandkerns vor, längs dem sowohl eine HF-Spulenordnung für die Sende- als auch für die Empfangseinrichtung umwickelt ist.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel sieht jedoch zwei als Ringbandkerne ausgeführte teilringartig ausgebildete Magnetkerne vor, die in Bezug zur Kontaktfläche und somit relativ zur Vormagnetisierungseinheit auf gegenüberliegenden Seiten angeordnet sind. Aus Gründen einer getrennten Signalführung und damit der Vermeidung einer gegenseitigen Beeinflussung von Sende- und Empfangssignalen sind die Sendespulenordnung und Empfangsspulenordnung getrennt voneinander jeweils auf der Vormagnetisierungseinheit gegenüber befindlichen Ringbandkernen angeordnet.

Eine derartig getrennte Spulenordnung auf zwei getrennten Ringbandkernen verhilft vornehmlich der Reduzierung sogenannter Totzeiten, die auftreten, wenn sich Sende- und Empfangsspulenordnung auf ein und demselben Ringbandkern angeordnet sind. Dies führt letztlich dazu, dass in jenen kurzen Zeitabschnitten, in denen die Sendespulenordnung den Ringbandkern in eine Sättigungsmagnetisierung überführt, der Ringbandkern keine Empfangssignale zu detektieren vermag. Wird der Ultraschallwandler bspw. zur Dickenmessung eingesetzt, so führen diese Sättigungseffekte dazu, dass Totzonen entstehen, die für die Dickenmessung unzugänglich sind, d.h. durch die zeitliche unmittelbare Abfolge von Sende- und Empfangssignalen können Empfangssignale aufgrund des

Sättigungseffektes erst nach einem zeitlichen Mindestabstand zum Sendesignal detektiert werden. Somit lassen sich Werkstücke erst ab einer Werkstückdicke von 3 - 4 mm Dicke erfassen.

Eine weitere Ausführungsform sieht die Anordnung zweier Ringbandkern-Paare vor, die jeweils in Orthogonalstellung zueinander um die Kontaktfläche, die vorzugsweise rechteckig ausgebildet ist, angeordnet sind. Auf diese Weise lassen sich innerhalb des Werkstückes jeweils zwei linear polarisierte Transversalwellenfelder erzeugen mit jeweils senkrecht zueinander orientierten Schwingungsebenen. Auf diese Weise lassen sich Materialfehler, bspw. in Form von Rissen, deren Rissverläufe entweder senkrecht zur einen oder anderen Schwingungsebene orientiert sind, exakt erfassen.

Für eine möglichst effiziente, d.h. verlustarme, und konzentrierte Einkopplung des „quasi statischen“ Magnetfeldes in das zu untersuchende Werkstück sieht eine Ausführungsform den Einsatz zweier gleichpoliger Permanentmagnete vor, die gemeinsam von einem aus weichmagnetischen Material gefertigten Werkstück zumindest teilweise umschlossen sind, das zu Seiten des Werkstückes mit einem Konzentrator verbunden ist, der seinerseits ebenfalls auch weichmagnetisches Material enthält, um den magnetischen Fluß auf die Kontaktfläche zu konzentrieren. Der Konzentrator selbst weist zwei unterschiedlich groß ausgebildete, gegenüberliegende Flächen auf, von denen die größere Fläche mit dem weichmagnetischen Werkstoff verbunden ist, der die Permanentmagnete zumindest teilweise umschließt, und von denen die kleinere Fläche dem zu untersuchenden Werkstück zugewandt ist und die Größe der Kontaktfläche zwischen der Vormagnetisierungseinheit und dem Werkstoff definiert. Vorzugsweise ist die Kontaktfläche, wie bereits erwähnt, rechteckförmig ausgebildet. längs derer wenigstens zwei sich gegenüberliegenden Seitenkanten die schräg zur Kontaktfläche geneigten Ringbandkerne angeordnet sind.

Um eine störende Wirbelstromeinkopplung durch die erzeugten HF-Felder innerhalb des Konzentrators aufgrund der räumlichen Nähe zu den die HF-Felder führenden Ringbandkernen zu vermeiden, ist der Konzentrator nicht aus einem homogenen

elektrisch leitfähigen Material gefertigt, sondern besteht entweder aus einem elektrisch nicht leitfähigem Material, in das ferromagnetische Partikel matrixartig eingebracht sind, um den magnetischen Fluß zu leiten und zu konzentrieren oder aber der Konzentrator ist vergleichsweise dem Magnetkern eines Transformators aufgebaut und besteht aus einer Vielzahl stapelartig zusammengefügtter Metallplatten.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1a, b

Seiten- und Vorderansicht eines erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandlers sowie

Fig. 2

elektromagnetischer Ultraschallwandler gemäß Stand der Technik.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Die Figuren 1a und 1b zeigen die Seiten- und Vorderansicht eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäß ausgebildeten elektromagnetischen Ultraschallwandlers. Dieser besteht aus einer Vormagnetisierungseinheit V zur Erzeugung eines ausreichend starken, senkrecht in den zu prüfenden Werkstoff W eintretenden statischen Magnetfeldes 1. Die Vormagnetisierungseinheit V weist zwei gleichnamig gepolte Permanentmagnete 3 auf, die von einem weichmagnetischen Werkstoff 2 wenigstens teilweise umschlossen sind, über den der magnetische Fluss H über einen mit dem Werkstoff 2 verbundenen Konzentrator 4 senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes 5 in das Werkstück 5 eingeleitet wird.

Aus der Vorderansicht gemäß Figur 1b ist ersichtlich, dass der Konzentrator 4 eine zur Kontaktfläche 9 zwischen der Vormagnetisierungseinheit V und der Werkstückoberfläche verjüngend zulaufende Form besitzt, wodurch der im Inneren

des Konzentrators 4 geführte magnetische Fluss H auf die eng begrenzte Kontaktfläche 8 konzentriert wird.

Rechts und links zu Seiten des Konzentrators 4 ist je ein halb offener Ringbandkern 6 angeordnet. Auf einem der Ringbandkerne 6 ist die Sendespulenordnung 7, auf dem anderen die Empfangsspulenordnung 8 aufgebracht. Die Ringbandkerne 6 sind bezüglich ihrer Teilringebenen 10 zur Kontaktfläche 9 derart geneigt, so dass zum einen gewährleistet ist, dass die Vormagnetisierungseinheit V eine die Ringbandkerne 6 beliebig senkrecht zur Kontaktfläche 9 überragende Bauhöhe annehmen kann, zum anderen dass die Spulenordnungen 7, 8 von der Werkstückoberfläche beabstandet sind, wodurch diese keinerlei mechanischen Verschleiß durch unmittelbaren Kontakt mit der Werkstückoberfläche unterliegen.

Um zu gewährleisten, dass die HF-Magnetfelder von bzw. zu den einzelnen HF-Spulenordnungen 7, 8 weitgehend verlustfrei über die Werkstückoberfläche in das Werkstück 5 einkoppelbar sind, schließen die Stirnflächen 11 der Ringbandkerne 6 mit der jeweiligen Teilringebene 10 ebenso den Winkel α ein, der grundsätzlich zwischen 0° und 90° gewählt werden kann, vorzugsweise jedoch zwischen 30° und 60° beträgt. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass trotz Schrägstellung der Ringbandkerne 6 die Stirnflächen 11 bündig zu Seiten der Kontaktfläche 9 auf der Werkstückoberfläche des Werkstückes 5 aufliegen und eine weitgehend verlustfreie Ein- bzw. Auskopplung der HF-Magnetfelder möglich wird.

Zur Ultraschallwellenanregung wird die Sendespulenordnung 7, die üblicherweise mit einem HF-Generator verbunden ist, mit einem HF-Stromburst-Signal gespeist. Der von der Sendespulenordnung 7 erzeugte magnetischer Wechselfluss H_ω gelangt über den Ringbandkern 6 und über einen kleinen, zwischen den Stirnflächen 11 und der Werkstückoberfläche eingeschlossenen Luftspalt in das Werkstück 5. Zwischen den Stirnflächen 11 der die Sendespulenordnung 7 tragenden Ringbandkerns bildet sich innerhalb der Skintiefe des Werkstückes ein räumlich homogenes magnetisches Wechselfeld H_ω aus. Die mit dem magnetischen Wechselfeld H_ω innerhalb des Werkstückes 5 gekoppelten Wirbelströme werden von

dem über den Konzentrator 4 senkrecht in das Werkstück 5 eintretenden magnetischen Gleichfeld überlagert, wodurch aufgrund der sich ausbildenden Lorentz-Kräfte sowie Magnetostruktionen senkrecht zur Richtung der Wirbelströme schwingende und senkrecht zur Werkstückoberfläche bzw. zur Kontaktfläche 9 sich ausbreitende Ultraschall-Transversalwellen erzeugt werden. Durch die Pfeildarstellungen ist die Schwingungsrichtung S sowie die Ausbreitungsrichtung A der Ultraschall-Transversalwellen gekennzeichnet.

Der Empfangsmechanismus zum Nachweise des sich innerhalb des Werkstückes ausbreitenden Ultraschallwellen beruht auf dem umgekehrten Effekt, nämlich die sich innerhalb des Werkstückes ausbildende Schallschnelle der zum Prüfkopf zurückkommenden Ultraschallwelle erzeugt in Wechselwirkung mit dem statischen Magnetfeld ein elektrisches Feld, das über den Ringbandkern 6 zur Empfangsspulenanordnung 8 geleitet eine elektrische Spannung in dieser induziert. Die in der Empfangsspulenanordnung 8 induzierte elektrische Spannung kann üblicherweise mit einem nachgeschalteten Verstärker verstärkt und entsprechend mit einer Auswerteeinheit ausgewertet werden.

Der erfindungsgemäß ausgebildete elektromagnetische Ultraschallwandler vereint somit die Vorteile in Bezug auf eine möglichst verlustfreie Ein- sowie Auskopplung von für die Erzeugung bzw. Detektion erforderlichen HF-Magnetfeldern in bzw. aus dem zu untersuchenden Werkstück. Hierbei sind in vorteilhafter Weise die für die Erzeugung und für den Empfang notwendigen Spulenanordnungen von der Werkstückoberfläche beabstandet angeordnet, so dass sie keinerlei mechanischem Verschleiß unterliegen. Zudem bietet die erfindungsgemäß ausgebildete Anordnung eine nahezu beliebig vornehmbare Skalierbarkeit der Vormagnetisierungseinheit, um die Magnetfeldstärke des „quasi statischen“ Magnetfeldes in gewünschter Weise zu optimieren. Diese Maßnahme führt letztlich zur Ausbildung großer Signalamplituden für die Ausbildung starker Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes, wodurch die Nachweisempfindlichkeit des elektromagnetischen Ultraschallwandlers entscheidend verbessert werden kann. Grenzen für die Skalierbarkeit der

Vormagnetisierungseinheit sind lediglich durch Anforderung im Hinblick auf Handhabbarkeit gesetzt.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|-------------------------------|
| 1 | „quasi statisches“ Magnetfeld |
| 2 | weichmagnetischer Werkstoff |
| 3 | Permanentmagnete |
| 4 | Konzentrator |
| 5 | Werkstück |
| 6 | Ringbandkern |
| 7 | Sendespulenanordnung |
| 8 | Empfangsspulenanordnung |
| 9 | Kontaktfläche |
| 10 | Teilringebene |
| 11 | Stirnflächen |
| 12 | Wirbelströme |
| S | Schwingungsrichtung |
| V | Vormagnetisierungseinheit |
| A | Ausbreitungsrichtung |

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf zur koppelmittelfreien Erzeugung sowie Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück (5) mit

- einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes (5) erzeugenden Einheit, die eine Sendespulenordnung (7), an die zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes eine HF-Spannung anlegbar ist, sowie eine Vormagnetisierungseinheit (V) zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück (5) überlagert, sowie
- einer die Ultraschallwellen empfangenden Einheit, die eine Empfangsspulenordnung (8) vorsieht, die mit einer Auswerteeinheit verbindbar ist, wobei

die Sendespulenordnung (7) und die Empfangsspulenordnung (8) torusförmig auf wenigstens einem teilringartig ausgebildeten Magnetkern (6) angeordnet sind, der jeweils zwei dem Werkstück (5) zukehrbare Stirnflächen (11) aufweist, über die die HF-Magnetfelder in das Werkstück (5) oder aus dem Werkstück ein- bzw. auskoppelbar sind,

dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) mittel- oder unmittelbar mit dem Werkstück (5) über eine Kontaktfläche (9) kontaktierbar ist, und dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) derart seitlich neben der Kontaktfläche (9) der Vormagnetisierungseinheit (V) angeordnet ist, so dass der teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) senkrecht zur Kontaktfläche (9) von der Vormagnetisierungseinheit (V) überragbar ist.

2. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) ein quasistatisches Magnetfeld erzeugt, dessen Magnetfeldlinien die Kontaktfläche (9) weitgehend senkrecht durchsetzen.

3. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) wenigstens einen, vorzugsweise zwei gleichpolige Permanentmagnete (3) vorsieht, deren Magnetfeldlinien vermittels eines Konzentrators (4) auf die Kontaktfläche (9) konzentrierbar sind.
4. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Permanentmagnet (3) zumindest teilweise von einem weichmagnetischen Werkstück (2) umschlossen ist, das die Magnetfeldlinien auf den Konzentrator (4) bündelt.
5. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 4 oder 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Konzentrator (4) aus weichmagnetisches Material aufweist und zwei sich gegenüberliegende Flächen aufweist, von denen eine größer als die andere ist und die kleinere Fläche die Größe der Kontaktfläche (9) vorgibt und die größere Fläche mit dem weichmagnetischen Werkstück (2) verbunden ist.
6. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Konzentrator (4) elektrisch nicht leitendes Material aufweist, in das ferromagnetische Partikel matrixartig eingebettet sind, oder dass der Konzentrator (4) aus einer stapelförmigen Anordnung einzelner Metallplatten besteht.
7. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) eine Teilringebene (10) aufweist, die mit der Kontaktfläche (9) einen Winkel α mit $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, vorzugsweise $30^\circ < \alpha < 60^\circ$; einschließt, und dass die Stirnflächen (11) des teilringartig ausgebildeten Magnetkerns (6) den Winkel α mit der Teilringebene (10) einschliessen.

8. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei teilringartig ausgebildete Magnetkerne (6) vorgesehen sind, von denen einer die Sendespulenordnung (7) und der andere die Empfangsspulenordnung (8) vorsieht, und dass die teilringartig ausgebildeten Magnetkerne (6) relativ zur Vormagnetisierungseinheit (V) auf gegenüberliegende Seiten angeordnet sind.
9. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach Anspruch 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass die teilringartig ausgebildeten Magnetkerne (6) achssymmetrisch zu einer die Vormagnetisierungseinheit (V) durchsetzenden Symmetrieachse angeordnet sind, und dass die Teilringebenen (10) der teilringartig ausgebildeten Magnetkerne (6) jeweils den Winkel α mit der Kontaktfläche (9) einschließen.
10. Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) als Ringbandkern ausgebildet ist.

Zusammenfassung

Beschrieben wird eine elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf zur koppelmittelfreien Erzeugung sowie Empfang von Ultraschallwellen in Form linear polarisierter Transversalwellen in ein bzw. aus einem Werkstück (5) mit einer die Ultraschallwellen innerhalb des Werkstückes (5) erzeugenden Einheit, die eine Sendespulenordnung (7), an die zur Erzeugung eines HF-Magnetfeldes eine HF-Spannung anlegbar ist, sowie eine Vormagnetisierungseinheit (V) zur Erzeugung eines quasistatischen Magnetfeldes aufweist, das das HF-Magnetfeld im Werkstück (5) überlagert, sowie einer die Ultraschallwellen empfangenden Einheit, die eine Empfangsspulenordnung (8) vorsieht, die mit einer Auswerteeinheit verbindbar ist, wobei die Sendespulenordnung (7) und die Empfangsspulenordnung (8) torusförmig auf wenigstens einem teilringartig ausgebildeten Magnetkern (6) angeordnet sind, der jeweils zwei dem Werkstück (5) zukehrbare Stirnflächen (11) aufweist, über die die HF-Magnetfelder in das Werkstück (5) oder aus dem Werkstück ein- bzw. auskoppelbar sind.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Vormagnetisierungseinheit (V) mittel- oder unmittelbar mit dem Werkstück (5) über eine Kontaktfläche (9) kontaktierbar ist, und dass der wenigstens eine teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) derart seitlich neben der Kontaktfläche (9) der Vormagnetisierungseinheit (V) angeordnet ist, so dass der teilringartig ausgebildete Magnetkern (6) senkrecht zur Kontaktfläche (9) von der Vormagnetisierungseinheit (V) überragbar ist.
(Fig. 1 a, b)

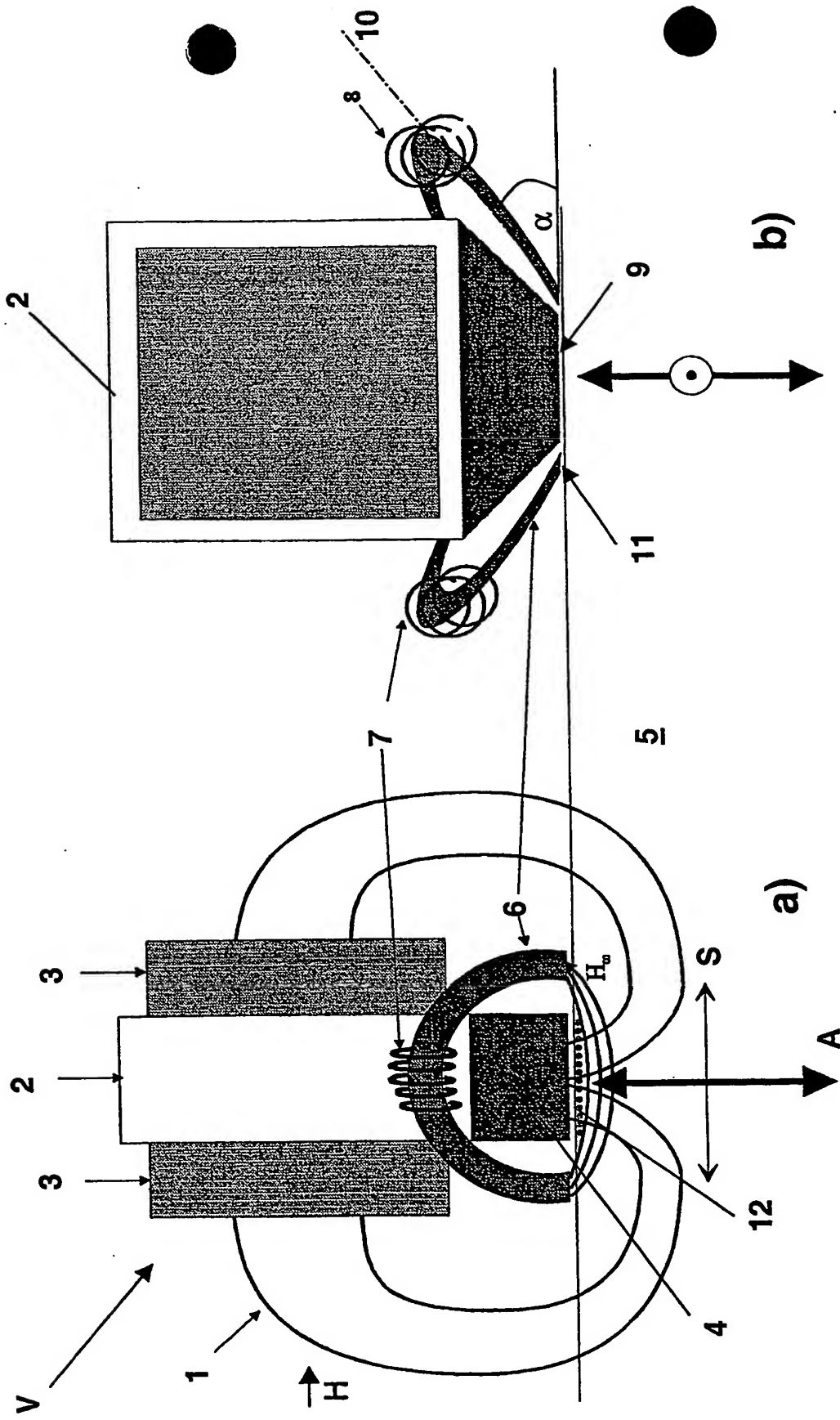
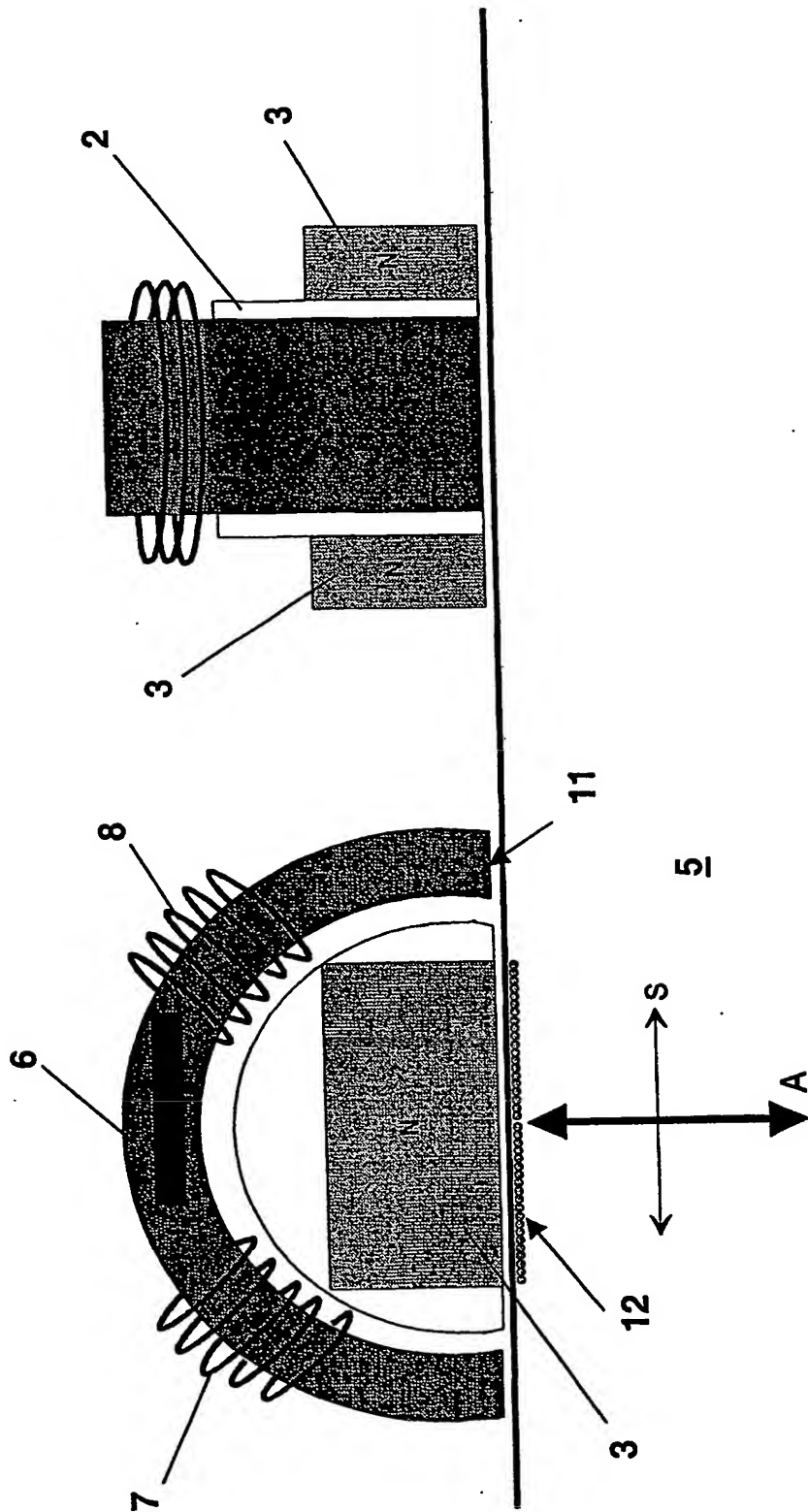


Fig. 1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.